

INVESTIGACIÓN E IMPACTO AMBIENTAL DE LOS EDIFICIOS. LA ENERGÍA

(RESEARCH AND ENVIRONMENT IMPACT OF BUILDINGS. THE ENERGY)

Antonio Lecuona Neumann^(*), Marcelo Izquierdo Millán^(**), Pedro A. Rodríguez Aumente^(*)

^(*)Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos de la Universidad Carlos III de Madrid. Unidad Asociada CSIC-UC3M de Investigación en Ingeniería Térmica y de Fluidos.

^(**)Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC). Departamento de Edificación y Habitabilidad. Madrid

Fecha de recepción: 20-VI-05

ESPAÑA

070-24

RESUMEN

Se presenta la problemática actual del uso de la energía de cara al agotamiento de las fuentes fósiles, el abastecimiento y la contaminación atmosférica de gases tóxicos, de efecto invernadero y destructores de la capa de ozono. Se comenta la relevancia de la energía en el impacto ambiental de los edificios y se discuten los distintos aspectos que inciden en la posible evolución futura del problema y en la mejor estrategia de investigación tecnológica para tratar de mejorar la eficiencia energética y medioambiental de los edificios, especialmente en España. Se presentan las tecnologías actuales de introducción de las energías renovables en los edificios y se comentan sus más relevantes características, haciendo hincapié en las barreras para su difusión. Se describe la actividad más reciente de investigación en la climatización por energía solar haciendo uso de máquina de absorción, con aplicación a Madrid.

SUMMARY

This conference describes the main problems of energy use in face of the depleting of fossil resources, energy supply and emission of atmospheric toxic gases, green house effect gases and ozone depleting gases. The relevance of energy consumption in the environment impact is commented, as well as the key points for the possible evolution of the problem and in the appropriate technology research to cope with them. In order to improve the energy and ecological efficiency of buildings. The main characteristics of present day technologies for the introduction of renewable energies in buildings are commented, dealing with their barriers for the widespread use. The most recent research on air conditioning using thermal solar energy with absorption machines is described, with application to Madrid.

1. INTRODUCCIÓN

La energía es lo indispensable para efectuar una transformación o cambio. A su vez la energía se obtiene

de transformaciones. El ser humano necesita de la energía para su desarrollo y bienestar, luego es inevitable que produzcan transformaciones, las cuales significan un cambio irreversible en el entorno (Figura 1).

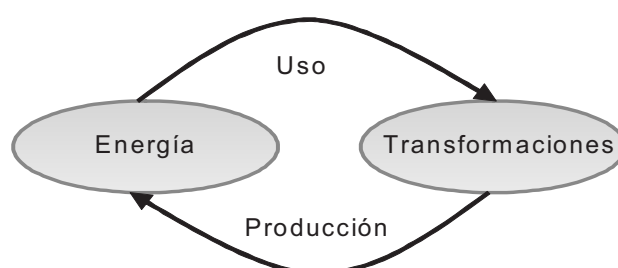


Figura 1.- Diagrama de la producción y uso de la energía.

Reseña histórica

El ser humano comenzó su andadura produciendo cambios en equilibrio con la naturaleza; esto es, de forma sostenible y, de hecho, inicialmente de forma insignificante en comparación con otros seres vivos, más poderosos y mejor dotados para la supervivencia.

Pronto el ser humano demostró su capacidad de amplificar su acciones (*homo faber*) produciendo transformaciones en su entorno para volverlo más acorde a sus necesidades vitales y a su expansión sobre la de otras especies. Éstas, una vez satisfechas se tornaron en necesidades culturales, adicionales a las anteriores.

La edad moderna viene marcada por una evolución de valores culturales, éticos, económicos, técnicos y sociales, pero indispensablemente viene señalada por valores nuevos entre los que destaca la ciencia.

La ingeniería emplea la ciencia como herramienta para mejorar el desarrollo y bienestar del ser humano. Este desarrollo y bienestar requiere cantidades cada vez mayores de energía, no solamente por el aumento per cápita, sino por el aumento de población. Conduce a que uno de los primeros objetivos de la ingeniería fue poner energía abundante a disposición del ser humano. Una vez logrado esto, fue posible la erradicación de una de las formas más abominables de lograr obtener servicios y energía masivamente, la esclavitud. El hombre puso a disposición del hombre esclavos mecánicos que sustituyeran a los esclavos humanos.

Las máquinas que el hombre ha construido han permitido que el consumo per capita se haya multiplicado por cientos de veces con respecto a las necesidades básicas de energía del ser humano para su subsistencia, en torno a 2,5 Mcal diarias o, lo que es equivalente, algo menos de 0,1 barriles de petróleo equivalentes al año. Este logro ha amparado numerosas hazañas de la edad moderna. La mortalidad se ha reducido enormemente, los viajes a larga distancia son posibles de forma segura, cómoda y económica. La cultura y la mera información se pueden difundir casi sin fronteras, de forma instantánea. Y así sucesivamente.

Los problemas

Este dominio de la naturaleza ha traído consigo no pocos problemas. Quizás el más sorprendente es la escasa implantación de la capacidad energética en la población humana. Aun hoy en día una tercera parte de la humanidad (2.000 millones aprox.) no tiene acceso a las formas modernas de energía, como la electricidad y la gasolina. Un tercio de la humanidad consume un 90% de la energía. No es de extrañar que la energía cause y haya de causar enfrentamientos y tensiones geopolíticas.

Un problema, acaso menos sorprendente, es el impacto ambiental causado en la naturaleza. Hoy nos preocupa un ligero cambio en las temperaturas del planeta (1° a 5°), de seguro reversible con el paso del tiempo, pero, según indican los expertos, mientras dure, muy dañino para el frágil equilibrio de la sociedad humana y de muchos ecosistemas. Especialmente sensible a este cambio climático es el tercer mundo.

Hoy nos preocupa también el vertido de sustancias tóxicas en las corrientes de aire y de agua, algunas de estas sustancias son muy persistentes y dañinas en cantidades minúsculas. Los Compuestos Orgánicos Persistentes COPs (furanos, dioxinas, etc.) son perjudiciales en partes por millón de millón, pues se acumulan en la cadena trófica. La contaminación del medio ambiente no es un problema nuevo, pero si de magnitud cada vez mayor.

La producción de energía está actualmente basada en los combustibles fósiles, disponibles en cantidad tan limitada que el petróleo, el gas natural y el uranio no serán abundantes nunca más en unas décadas al ritmo de consumo actual. El carbón durará más, unos cientos de años al ritmo de consumo actual. Su peligrosa extracción y elevado nivel de contaminantes en gases de chimenea está haciendo que incluso países muy necesitados de este combustible, como China, se planteen reducir su producción sustituyéndolo por la energía nuclear. Un hecho importante es que el carbón es inútil para el transporte actual, aparte de ser el más contaminante de los fósiles¹.

Otro hecho importantes es que los estudios que realizan las agencias internacionales de la energía apuntan a aumentos del consumo mundial de energía, en lugar de a disminuciones. Algunos modelos basados en escenarios moderados apuntan a crecimientos del 50% en 10 a 15 años [World Energy Council 1998].

De esta manera, grandes sectores de la población en países en vías de desarrollo puede que nunca conozcan el uso energético del que actualmente disfrutamos y que ha permitido nuestro desarrollo. El petróleo pudiera ya haberse agotado en el sentido económico; esto es, sería tan caro o tanpreciado que resultaría inasequible en la práctica para un uso generalizado. Privar de ello a nuestros semejantes es una injusticia, que exigirá su precio, como lo será privar a las generaciones futuras de un bien heredado de la naturaleza y en su lugar dejar un entorno sucio y degradado². La preservación de las fuentes de energía o la invención y uso de nuevas es una obligación para las sociedades avanzadas.

Avanzar hacia una mejor distribución de la riqueza exige necesariamente buscar una mejor distribución de la energía. Es más, la energía pudiera ser el vehículo que propicie el buen entendimiento y la colaboración entre los países productores y consumidores, entre los tecnológicamente avanzados y los que están en vías de desarrollo.

Un 90% de la contaminación atmosférica se debe a la industria de la energía y problemas globales como el cambio climático o la destrucción de la capa de ozono³ son causados por actividades energéticas primordialmente. Se impone pues un uso más responsable de la energía basado en criterios de sostenibilidad y solidaridad intergeneracional.

España

Si ésta es una preocupación general, más sentido lo tiene en nuestro país, donde no sólo el crecimiento del consumo energético es de los mayores de Europa, sino que la intensidad energética⁴ crece continuamente en contraste con la tendencia europea que prevé descensos del 1% anual⁵. Esta tendencia se produce, además, en un entorno en el que el sector industrial pierde peso frente al sector servicios.

España importa actualmente un 75% de la energía que consume, cifra que podría evolucionar hacia el 90%, mientras que Europa importa un 50%, cifra considerada elevada, pudiendo evolucionar hacia el 70% en 2030 [Comisión Europea 2001].

Los aumentos en el consumo energético de nuestro país (duplicado entre 1975 y 2000) son atribuibles en los años recientes (1993-actualidad) primordialmente al sector del transporte individual y residencial, muy ligados a aspectos de calidad de vida, con pequeña repercusión en el PIB [IDAE, 2004]. Es posible que esta tendencia continúe, por lo que se precisa una atención especial al consumo residencial, objeto de estas jornadas (Figura 2).

El turismo se caracteriza en general por su alta intensidad energética. El transporte al lugar de veraneo suele ser de media-larga distancia. El sector hotelero trata de ofrecer al cliente el máximo confort, lo que lleva al uso de sistemas altamente consumidores. Tras los gastos de personal y de alimentación, los gastos energéticos son la partida presupuestaria más elevada, representando entre un 3% y un 15% de los costes globales, especialmente en establecimientos costeros [ASHOTEL].

Los datos y argumentos que se describen en numerosos informes convierten a la mejora de la eficiencia energética en una de las más urgentes prioridades de nuestro modelo energético [CJN Consultores, 2002].

2. LOS EDIFICIOS, EL MEDIO AMBIENTE Y LA ENERGÍA

Una de las necesidades básicas, vitales y culturales del ser humano es la vivienda. Ésta consiste en una transformación, mediante la construcción de barreras en el entorno natural, que tienen como objetivo el procurar un ambiente sano, cómodo y adaptado a la actividad humana. Téngase en cuenta que los europeos pasamos el 90% del tiempo dentro de los edificios. Por lo tanto, el impacto ambiental es ineludible al comportar la vivienda una transformación necesaria. Sin embargo, se trata de que este impacto, entendido a lo largo de todo el ciclo de vida, sea sostenible y no trascienda más allá de lo necesario, evitando la pérdida irreversible del patrimonio natural.

El impacto causado por los edificios, sean de vivienda o de servicios, proviene de su construcción, de su uso y de

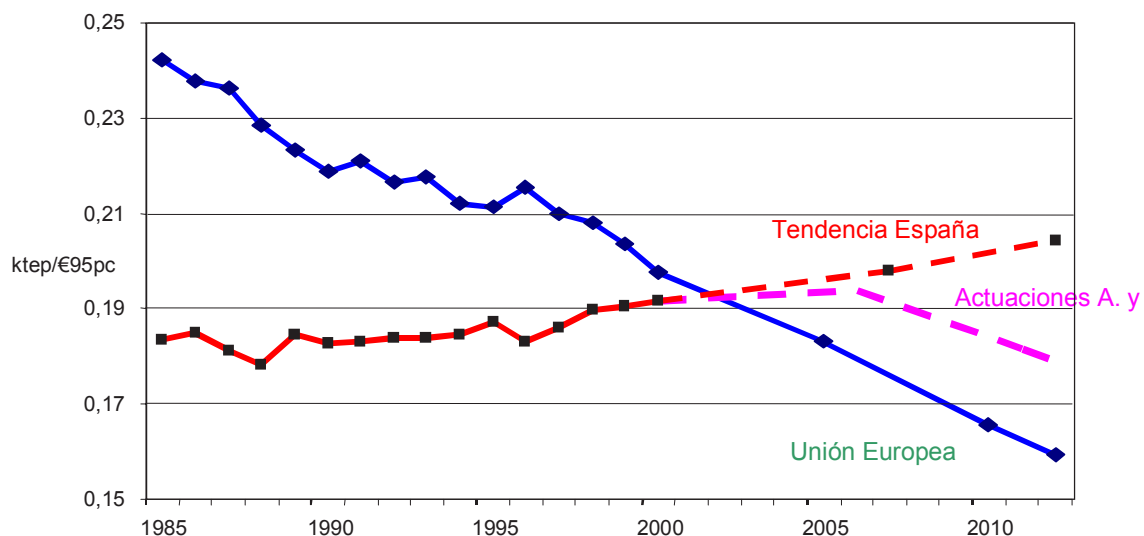


Figura 2.- Evolución reciente de la intensidad energética de España (real+tendencia) y como resultado de las estrategias de ahorro y eficiencia energética en comparación con las de la Unión Europea. Se muestran en miles de toneladas equivalentes de petróleo por cada euro deflactado a 1995. Fuente [Iglesias A. L. 2004]. Si se considera la corrección a paridad de compra, España se sitúa un 3% por debajo del indicador comunitario en 2000 en energía primaria [IDAE, 2004].

su gestión como residuo tras la demolición. Dejemos de lado la ocupación de suelo. El consumo de áridos es un asunto importante, especialmente en algunas zonas, donde la presión consumista lleva a explotar recursos de alto valor medioambiental. La generación de residuos de construcción y de demolición, de los que solo se puede reciclar o reutilizar una fracción pequeña, 28% según [Guía y el Código de Valoración de Edificación Sostenible para la Vivienda].

Tanto la construcción como la demolición son operaciones energéticamente intensas, pero poco significativas, si las comparamos con el uso del edificio a lo largo de su vida operativa, cifrables en torno al 14%, según algunas fuentes. Eso a pesar de que los materiales de construcción acarrear una «mochila» energética importante; recordemos la obtención del cemento, del acero, de las cerámicas, o el propio poder calorífico de la madera. A modo de ejemplo, en [Delf Outlook 2005] se observa que los costes medioambientales del consumo energético superan al resto de los costes medioambientales de edificios de oficinas a partir de unos 15 años de servicio del edificio. La carga soportable por el medio que impone la edificación es muy variable y depende de la naturaleza del propio medio y del uso que de él se pretende. Así, una ciudad densa supone una gran carga, pero eventualmente soportable ya que el uso que se pretende es el de un espacio altamente artificial. Sin embargo, las zonas turísticas naturales aceptan cargas menores, por ejemplo de consumo de agua, de vertidos, de ruido y de la misma presencia, uso del suelo y aparición de barreras a la vida natural de los edificios y vías de comunicación.

- Una particularidad de la construcción de edificios y en general de la obra civil es la posibilidad de incorporar en los materiales residuos propios y de otras industrias, siendo capaces, por ello, de enjugar, en parte, su propio impacto y posibilitando una sostenibilidad global. En los países del norte de Europa se procede actualmente a demoliciones de edificios obsoletos y degradados, ante la carencia de suelo, por lo que la investigación en el reciclado de áridos es activa.
- Otra particularidad del consumo energético de los edificios es que la carga infligida con él puede no estar radicada donde el edificio, sino muy lejos, por lo tanto permaneciendo oculta. Esto produce un desacople que es necesario acometer con políticas e instrumentos adecuados. Agrava esta separación aparente de causa y efecto la baratura actual de la energía. Tengamos en cuenta que para que los precios del petróleo en Europa estuvieran al mismo nivel que durante las crisis de 1973 y 1978 habría de estar a unos 100 \$ el barril [El País, 2004]. En cuanto a los costes externos, consideremos que si cada familia media española hubiera de pagar el precio actual de las cerca de tres toneladas de CO₂ emitidas al año por el uso de su vi-

vienda, sobrarían 100 • para ello. Por eso, la percepción del impacto que causa el consumo de energía en términos monetarios es muy pequeña.

Una consideración que abunda en lo anterior son los impuestos indirectos soportados en Europa por los combustibles para el transporte por carretera, del orden del 70% del precio de venta. Aun así, el parque de automóviles no cesa de crecer (45% en una década en España), así como la distancia recorrida al año y la potencia de los motores con los que se equipan, especialmente en la historia reciente de nuestro país.

El problema de la energía probablemente sea que nunca ha sido escasa, que siempre ha sido abundante para el que dispone de ella y que los beneficios que de su uso se derivan han más que compensado sus efectos nocivos, en algunos casos muy patentes, como lo es el cielo contaminado de las grandes urbes, el ambiente muy nocivo de muchos hogares del tercer mundo, causante de un tercio de las muertes prematuras y las muertes que causa la minería.

Los edificios de viviendas y del sector terciario en Europa son causantes del 40% del consumo de energía final [Bowie, 2003] (las viviendas 29% [EEA], 26,2% según [Michaelis L. 2004]). Constituyen el mayor consumidor en términos absolutos. En nuestro país esta cifra es más modesta, en torno a un 19%, habida cuenta de nuestra mejor meteorología y menor nivel de confort en la vivienda (las viviendas 15% [Michaelis L. 2004]). Según Aquí Europa (www.empresasostenible.info, 31 de mayo de 2005, con datos publicados por Eurostat en la Green Week) los transportes en España suponen el 41% del consumo, 33% la industria, 15% los aparatos domésticos y el 11% para los servicios de la agricultura y sector terciario. En la Europa de los 15 las cifras son, respectivamente, 32%, 28%, 26% y 15%.

Sin embargo, una proporción importante de las viviendas en España carecen de sistemas de calefacción centralizados y también de aire acondicionado. Muchas de esas viviendas carecen también de un aislamiento térmico o éste es muy deficiente. El alcance de cotas de confort similares a la media europea, o mayor, en los establecimientos turísticos, junto con la elevada tasa de construcción (500.000 viviendas en 2003 y 600.000 en 2004) puede significar un crecimiento del consumo tal que se produzca un aumento importante en la intensidad energética del sector y del conjunto del país, aunque actualmente éste se deba también al sector transporte. Unos datos pueden apoyar esta idea. En 2003 se vendieron en España unos 900.000 aparatos de aire acondicionado, según la Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización (AFEC)⁶. Esta misma asociación ha declarado para 2004 ventas de 1.473.176 unidades, con el mayor aumento desde 2003 de las ventas en las viviendas (626.400 a 768.000, un 22,6% de aumento) seguido del sector servicios (231.700 a 270.000) y de la industria (116.000 a 120.400). El pico

de consumo eléctrico, tradicionalmente ocurrido en invierno, está siendo alcanzado por el pico de verano, causado por la climatización.

El reconocimiento de la importancia del edificio como agente consumidor de energía y emisor de contaminantes durante su vida operativa no está ampliamente difundido en nuestro país, o al menos no se han podido encontrar suficientes indicios de que ello esté bien establecido. Como dato ejemplar se cita [Fundación OPTI y Labein, 2003]. Este informe, usando metodología Delphi, en la que se ha contado con 20 expertos, consultado a 333 profesionales de la Obra Civil e identificado 102 tecnologías, entre las 15 tecnologías más relevantes para el sector de la Obra Civil, incluye entre las 5 primeras una, «Técnicas de análisis del ciclo de vida, aplicadas tanto para materiales como para estructuras, integrando su impacto ambiental y su balance energético», única relativa al consumo energético. En su descripción se incluye solamente lo relativo a la calidad medioambiental de la construcción del edificio, nunca a su uso. En contraste, otros aspectos que afectan al uso del edificio, como es la resistencia al fuego (en el uso), si son incluidos. Por lo tanto, la eficiencia energética de los edificios parece concebirse como un capítulo aparte del proceso de construcción. La arquitectura más próxima al concepto de sostenibilidad sí que considera los aspectos energéticos parte de las buenas prácticas edificatorias p. e. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/ajnei.html>.

La capacidad de la envolvente del edificio en evitar las pérdidas energéticas y la de sus instalaciones en procurar un mínimo consumo y un mínimo impacto directo o indirecto sobre el medio ambiente, evidentemente tiene que incorporar tecnologías horizontales que trascienden del sector de la construcción. Las máquinas frigoríficas, las calderas y los electrodomésticos constituyen tecnologías claramente distinguibles de la de construcción. Sin embargo, el edificio es posibilitador de la aplicación de las tecnología más eficientes y esta posibilidad queda determinada en gran parte una vez concluido el diseño del edificio. La incorporación de un satisfactorio aislamiento térmico, una buena orientación, una luz natural adecuada y una inercia térmica bien dimensionada constituyen componentes de un «círculo virtuoso». Esto es, un diseño bioclimáticamente correcto permite una reducción en la potencia y tamaño de la iluminación, climatización y ventilación. Asimismo, esta reducción en la potencia necesaria, permite sistemas de energías renovables de menor tamaño y, por ello, económicamente abordables. Recordemos que los sistemas de energías renovables actualmente producen a un coste superior al de los sistemas no renovables.

El futuro Código Técnico de la Edificación, así como la Certificación Energética de los Edificios, al estar orientados a objetivos o prestaciones, ofrecen una oportunidad importante para vincular la materialización del edificio con su eficiencia energética y medioambiental. La introduc-

ción de medidas de eficiencia en la fase de diseño y proyecto, fijando, vía normativa, unos requisitos mínimos e informando al comprador, o usuario, de la eficiencia del edificio, está en línea con la Directiva 2002/91/CE de Eficiencia Energética en los Edificios. Nuevamente encontramos que la administración ha de desempeñar el papel de agente tractor a través de la vía administrativa para lograr algo que el mercado no reconoce.

Son numerosas las herramientas disponibles por el profesional para el correcto dimensionado de las instalaciones energéticas de los edificios, para la realización de auditorías energéticas y para el diagnóstico operativo. Sin embargo, siguen existiendo barreras para su uso. El mercado de la edificación es muy competitivo y orientado a la minimización de costes. La cuestión ante ello es, si la opción preferible consiste en incentivar la formación técnica que capacite de forma suficiente o bien invertir en facilitar el uso de estas aplicaciones informáticas, dotándolas de «inteligencia» suficiente para que puedan significar una ayuda real para el técnico de proyecto con la formación actual.

En las recientes Jornadas Informativas de Eficiencia Energética y Energías Renovables en Edificios [IDAE 2004b], además de dar la bienvenida a los borradores de la inminente nueva normativa edificatoria relativa a la edificación, se detecta una común preocupación por la complejidad procedimental en relación a la cumplimentación de la nueva normativa (CTE, CEE y nuevo RITE) con «grandes dificultades de adquisición de datos que limita la libertad de diseño» por parte del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España, solicitando una implantación progresiva.

De poco servirán las normativas emergentes si no se logra una concienciación de todos los actores que participan en cualquier edificación: propietarios, profesionales de la ingeniería, arquitectura, construcción y administración pública.

A esta concienciación puede contribuir de forma extraordinaria el ejemplo de la administración en sus propios edificios, en la inclusión de condiciones de sostenibilidad en concursos y licitaciones, en cláusulas de calidad medioambiental en el mantenimiento de edificios, renovaciones y demoliciones. La aplicación de sistemas de energías renovables en los edificios del sector público no sólo contribuye a mejorar la imagen social de este sector, sino de impulsor de un importante sector industrial.

La promulgación de guías de buena práctica medioambiental y energética de cumplimiento voluntario puede proporcionar incentivos a los profesionales y empresas en su aplicación en los proyectos del sector público, que proporcionen una calificación adicional a la hora de decidir la concesión en concursos.

La industria ofrece actualmente materiales aislantes a un precio muy interesante, reciclables y sin impacto sobre la salud de los habitantes. Dado que los espesores de aislamiento económica y medioambientalmente óptimos de aislamiento son importantes, del orden de 10 cm a 20 cm, esto plantea no sólo problemas constructivos, sino una reducción de espacio habitable que resulta inconveniente. Debido a ello, recientemente se han desarrollado aislamientos a vacío, con espesores de la quinta parte de los convencionales [Delft Outlook, 2005]

El Protocolo de Kioto y los edificios

Un instrumento poderoso para la contención del despilfarrero energético en los edificios es la aplicación del Protocolo de Kioto. Significa reducir nuestras emisiones de seis gases de efecto invernadero, pero primordialmente del anhídrido carbónico, producto ineludible de la combustión fósil. Dado que la enorme mayoría de la energía procede de este proceso, es obligada una reducción del consumo energético en los edificios. La reducción ha de venir de la aplicación de una diversidad de medidas coincidentes y no solamente tecnológicas, sino incluyendo cambios de actitudes. Éstas han de afectar los distintos usos que de la energía se hace en los edificios y al edificio en sí mismo, convirtiéndolo en un espacio eficiente.

El principal compromiso es el protocolo de Kioto. Pero es necesario tener en cuenta los compromisos de la Directiva IPPC, las Directivas sobre Calidad del Aire y el Programa de Aire Limpio para Europa y la Directiva 2001/81/CE sobre techos de emisiones totales por países de SO_2 , NO_x , NH_3 y Compuestos Orgánicos Volátiles. La gran mayoría de los contaminantes comprometidos tienen un origen directo o indirecto en los edificios a través del consumo energético.

3. EL PROTOCOLO DE KIOTO

El Protocolo de Kioto fue establecido en 1997, y entró en vigor el 16 de febrero de 2005 por haberlo ratificado un número suficiente de países que sumen al menos un 55% de las emisiones globales de 1990 de gases de efecto invernadero (GEI: CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC y SF_6). Es un tratado internacional que afecta a los 38 países industrializados incluidos en el Anexo I del protocolo. Ha sido ratificado por 129 países en 2004 con la clamorosa ausencia de EE.UU, además de Australia, Croacia y Mónaco. Recientemente se ha publicado la noticia de que Australia, Japón y China firmarán un acuerdo con los EE.UU. relativo al desarrollo de tecnología que permita la reducción de GEI.

El Protocolo de Kioto no contiene ningún compromiso nuevo para los países en desarrollo más allá de los alcanzados en la convención de la ONU sobre el clima, cele-

brada en 1992. Entre ellos destaca China e India, países con un importante crecimiento reciente, que, por ahora, no parece que vayan a renunciar a aumentar su consumo energético para desarrollarse.

El 5,2% es el objetivo global de reducción de GEI, pero las reducciones no son iguales para todos. Así, España tiene derecho a aumentar sus emisiones un 15% en el periodo 2008-2012, justificándose esto sobre unas emisiones per cápita entonces inferiores en un 20% a la media europea. Actualmente las hemos aumentado casi un 50%. En España las emisiones anuales de CO_2 son de 9 tm/habitante⁸, frente a 20,2 tm/habitante en los EE.UU, según cifras de la IEA⁸.

El Protocolo de Kioto afecta primordialmente a la combustión de combustibles fósiles (82% de contribución en nuestro país), ya que los renovables ofrecen emisiones de CO_2 neutras, al suponerse que la vegetación fija este gas de nuevo. Por lo tanto, afecta de distinta manera a los edificios en todo su ciclo de vida:

1. Durante la construcción, se imputan a las industrias productoras de materiales y constructoras.
2. Producción de combustiones in-situ, generalmente para calefacción: fuel, gas natural, GPL. Son las únicas emisiones directas.
3. Consumo de energía que ha sido generada con combustión de fósiles, generalmente la electricidad. Se imputan al sector energético.
4. Demolición. Se imputan a las industrias correspondientes.

Sin embargo, es de buena lógica reconocer que el edificio como producto industrial acarrea una «mochila» de GEI que comienza en su construcción. Se desarrolla con su uso, en el que es necesario considerar la repercusión del urbanismo en las emisiones, p. e. del transporte de superficie, y finaliza con el fin del ciclo de vida.

Durante el período transitorio que vivimos (2005-07) tan sólo se controlan las emisiones de instalaciones industriales y energéticas de más de 20 MW. En el período 2008-12 se acometerá el control de las fuentes difusas o distribuidas, como lo son los edificios y los vehículos de transporte automóviles.

España

En nuestro país dos planes, actualmente en vigor, van a ser revisados de cara a la **Estrategia del Cambio Climático**; son el **Plan de Fomento de las Energías Renovables (1999)**, donde se establecían los objetivos hasta 2010 y la **Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012** (EAEE, conocido como E4), aprobado en noviembre de 2003. Con ello se pretende frenar la curva ascendente de emisiones (Figura 3) y lograr que des-

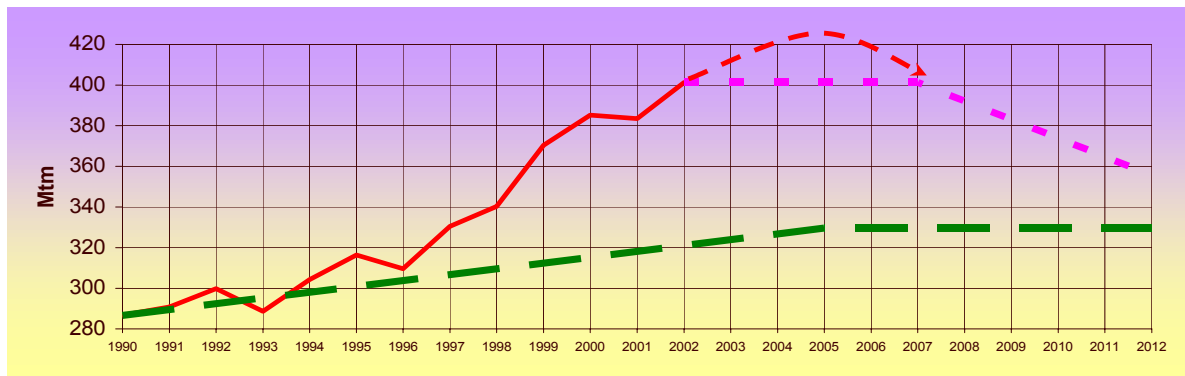


Figura 3.- Evolución de las emisiones de gases con efecto invernadero en España, con línea roja continua. La línea de trazos verde indica el límite marcado por el Protocolo. La línea de puntos fucsia indica la política actual de estabilización de emisiones hasta 2007 y un descenso posterior para cumplir Kioto en 2012 según se indica en el texto. La línea roja de trazos indica la posible evolución de las emisiones reales.

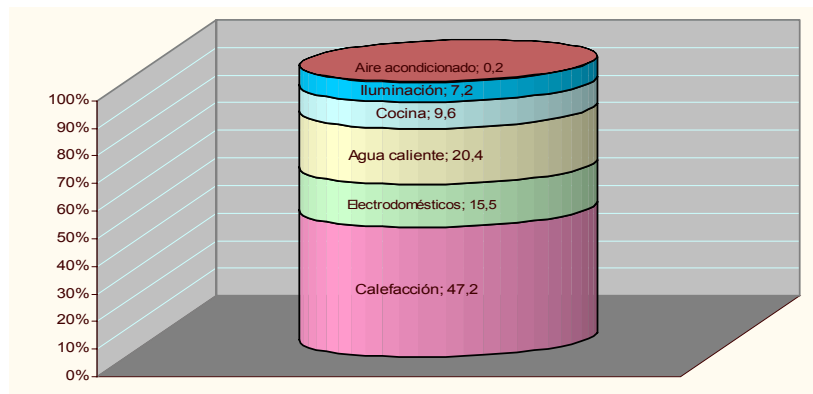


Figura 4.- Distribución del consumo final de energía del sector residencial español atribuible al edificio, en 2000.

2012. La intención es que no exceda en demasía el 15% de aumento permitido a España, correspondiente a un total de 330 millones de toneladas equivalentes de CO₂. Al 15% de Kioto se le sumará un 2% absorbido en sumideros y un 7% procedente de derechos obtenidos en el mercado internacional, diario EL PAÍS 04-09-2004, p. 32.

Consumo y emisiones en los edificios

La atribución del consumo y de las emisiones a los edificios es compleja y las cifras difíciles de cotejar, no habiéndose podido encontrar una base de datos completa, estructurada y clara para nuestro país. Por un lado tenemos las viviendas o sector residencial: hogares, caravanas, apartamentos, etc. Los edificios que alojan múltiples residentes como hoteles, residencias, monasterios, fraternidades, alojamientos para profesionales en activo, etc., se incluyen entre los edificios de servicios. Los edificios de servicios o del sector terciario son aquellos que no son residenciales y que alojan una actividad humana: oficinas, educación, hospitales, comerciales, restauración, auditorios, exposiciones, templos, etc.. Los edificios industriales son aquellos que alojan una actividad propiamente industrial, es decir, manufacturera, de almacenamiento, etc. Esta clasificación sigue las recomendaciones de la EIA <http://www.eia.doe.gov>. Un estudio reciente [IDAE, 2004] separa los edificios en residenciales y terciarios, agrupando

ambos con servicio público (alumbrado público y aguas), con agricultura y con pesca, para formar el grupo de «usos diversos», que, junto con industria y transporte, conforman el trío del consumo final de la energía. Por sectores, los edificios representan los 2/3 del ahorro previsto en energía en usos diversos.

Según este mismo estudio el sector residencial en España consume un 15% de la energía final, que, junto al sector servicios, que consume un 8,5% suponen un 23,5% (no todo el sector servicios consume en edificios). En contraste, el sector residencial europeo consume un 26,2%, que, junto al de servicios, con un 11,6%, suman un 37,8%. Es innegable que en la industria existen edificios a los que cabe imputar, como tales, un consumo. Si aceptamos que es posible una convergencia con Europa, cabe esperar un aumento de la significación energética de este sector.

Sector residencial

Un 75% del consumo energético total residencial es atribuible a los edificios, otros consumos son la alimentación los bienes y los servicios. De acuerdo con [IDAE, 2004] en 2000 este uso se repartía de la siguiente manera (Figura 4).

Es de destacar que la energía térmica acumula casi un 70% del consumo.

Comparación de consumos del sector en Europa y los EE.UU.

- En España el consumo por hogar muestra una tendencia creciente con el tiempo ($\sim 2\%/año$), habiéndose superado 1 tep/(hogar \times año) en 2000 (equivalente a 10^7 kcal/año = 11,6 MWh/año) [IDAE, 2004]. Es resultado del aumento de dotaciones de los hogares y del nivel de confort, pasándose paulatinamente de calefacción parcial con aparatos aislados a sistemas centralizados, sean individuales o colectivos. Asimismo ha aumentado el equipamiento de electrodomésticos (especialmente audiovisual) y comienzan a implantarse sistemas individuales de aire acondicionado, recientemente reversibles¹⁰. La lavadora, el frigorífico y la cocina están implantados en prácticamente el 100% de los hogares; otros electrodomésticos tienen implantaciones importantes, como el lavavajillas 22%, microondas 58% y aspiradora 48%. Los ordenadores están en 1/3 de los hogares, si bien su empleo crece rápidamente.
- El mismo estudio indica que en la Unión Europea el consumo por hogar en 2001 fue de 20,9 MWh con un 22% de aporte eléctrico. Si dividimos el consumo total de energía de los hogares en Europa, de 10.644 PJ por los 163 millones de hogares censados [<http://www.cogenmicro.com/businessplan.htm>] se obtiene una cifra ligeramente inferior, de 18,1 MWh.
- Un reciente estudio [EIA 2005] muestra un consumo en 2001 del hogar medio estadounidense es 32,8 MWh/año, con participación eléctrica del 13,3% en términos de energía final. En términos de energía primaria, el consumo fue de 41,4 MWh con una participación eléctrica del 46%.

Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

En cuanto a emisiones de CO₂:

- El IDAE informa que el sector residencial supone un 25% de las emisiones de GEI en España, casi como la industria, 34%, y el transporte de viajeros y mercancías, 27%.
- En los EE.UU. [DOE 2003] informa del siguiente reparto: residencial 21%, servicios: 17,7%, industria 28,8 % y transporte 32,4%.

Generalmente las emisiones de la electricidad son mayoritarias en los edificios 60% al 70% a causa el rendimiento termodinámico¹¹ de las centrales térmicas de fósiles que multiplica por aproximadamente 3 las emisiones por kWh_e. Las emisiones causadas por la electricidad en la industria son del orden del 30%.

Cabe esperar que la tendencia a un mayor equipamiento en las viviendas se mantenga, aunque disminuida con el descenso del tamaño de las unidades familiares. Mientras Grecia e Italia muestran evoluciones parecidas, con ligeros crecimientos, Europa mantiene el consumo por hogar o incluso éste baja.

Resulta sorprendente, al observar los datos de la Figura 4, cómo el 0,2% de consumo en aire acondicionado puede contribuir a ocasionar picos de consumo eléctrico record en los días de verano. Otros datos abundan en esta idea. Los estudios previos a la Directiva 200/91/CE [Bowie, 2003] estiman una duplicación del consumo en aire acondicionado en 2020 para los edificios residenciales y del sector servicios en Europa. Por otro lado, según la Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización, en España el número de hogares con aire acondicionado es de 3,5 millones, resultando el mercado potencial de 12 millones de unidades de bomba de calor (frío+calor) de un total de 15 millones de hogares en 2012. Caso de alcanzarse esta cota, supondría un consumo anual total de 14.400 GWh_e, algo muy perjudicial para el cumplimiento del Protocolo de Kioto y para la competitividad de nuestra economía [Marcos, 2004].

Este mismo estudio muestra que el PEII (Potencial de Efecto Invernadero Indirecto¹²) de las máquinas de compresión mecánica actuales puede cifrarse de la siguiente manera:

$$0,57 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kWh}_e} 4.083 \times 10^6 \text{ kWh}_e = 2,3 \times 10^6 \text{ tm de CO}_2$$

basado en datos de [Izquierdo et al., 2004].

El PEID (Potencial de Efecto Invernadero Directo) total del refrigerante R401A a 1kg por máquina, asumiendo una equivalencia de 3.500 kg/kg de CO₂, es muy notable. Si todo se escapara supondría el equivalente a 63×10^6 tm de CO₂, un 19% del límite de Kioto para 2012. De ahí la importancia de evitar las fugas, realizar el reciclado correcto o destrucción del refrigerante al término de la vida operativa del aparato y para evitar este riesgo, el uso de refrigerantes sin efecto invernadero.

Sector servicios

El sector servicios en nuestro país muestra crecimientos del consumo energético más importantes que el sector residencial, en torno al 10% anual, siendo el 80% de él atribuible al edificio. La climatización en los edificios nuevos es el principal responsable y en menor medida la iluminación. El consumo unitario ha aumentado en nuestro país, mientras que en Europa ha descendido.

Es de destacar la importancia del subsector oficinas, restaurantes y alojamientos, y comercio, según muestra la Figura 5.

El sector hotelero

El sector hotelero, importante en nuestro país; según algunas investigaciones, entre las que entresacamos el proyecto de investigación europeo XENIOS destacan los siguientes

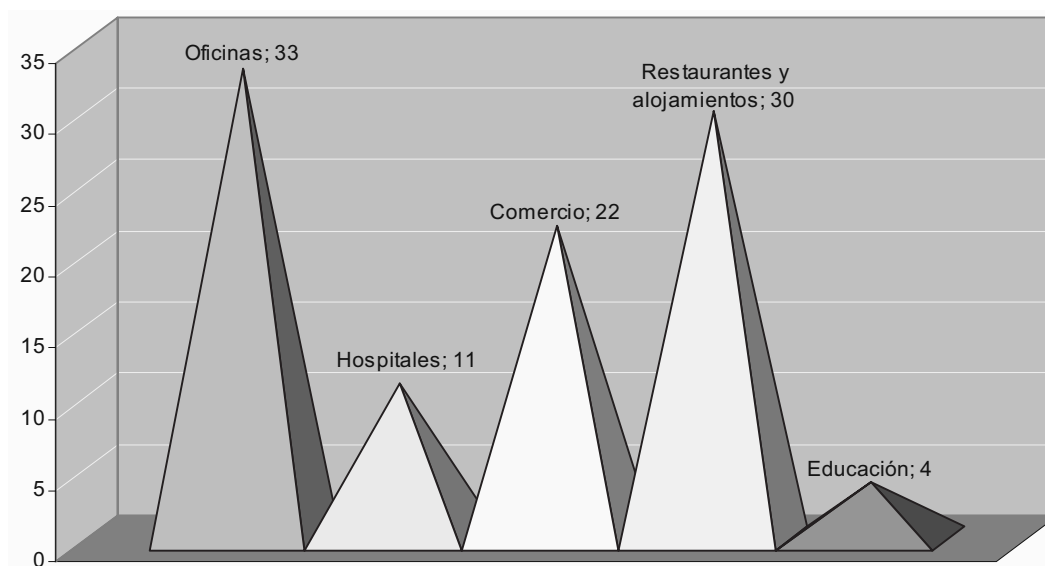


Figura 5.- Distribución porcentual del consumo del sector servicios por subsectores, en España, 2000.

tes hechos: «la mayor parte de los hoteles existentes en el área son edificios construidos durante las décadas de los 70 y de los 80, cuando la demanda tuvo un incremento espectacular. Este hecho conllevó la construcción rápida de edificios de baja calidad constructiva (en relación a los estándares actuales), una demanda energética muy alta, una pobre calidad en los equipamientos e instalaciones, así como una gestión poco sostenible de los recursos naturales, características, todas ellas, de los hoteles construidos durante estas dos décadas. Nos encontramos, pues, con un parque de edificios con una edad que abarca la horquilla entre los 20 y los 30 años de antigüedad; muchos de estos edificios necesitan una puesta al día total o parcial, con operaciones de mantenimiento y de rehabilitación importantes, tanto desde la óptica constructiva (acabados, fachadas, cubiertas...) como desde el consumo energético, la eficiencia de las instalaciones y el consumo de agua, que en este tipo de edificios es muy importante, ya que cabe tener siempre presente la calidad final del servicio que se presta a los huéspedes».

[AEMA 2004] cifra el consumo energético diario de los hoteles de 1 estrella en 157 kWh/m² y en 380 kWh/m² el de los de 4 estrellas, cifra muy superior a la de los hogares, acompañado ello de un consumo de agua 1/3 superior al de los habitantes locales, hasta 300l/día, aunque en un hotel de lujo puede llegar a 800 l/día.

En abundancia con lo anterior, los hoteles están situados en los primeros lugares de la lista de consumidores de energía entre los edificios del sector terciario, Figura 5. Soportan cargas estacionales importantes, costes energéticos elevados y contribuyen a dificultar el abastecimiento energético, entre otras razones por su radicación, a menudo en islas o lugares apartados.

La aplicación de modernas técnicas de optimización energética, implementación de energías renovables y la renovación de instalaciones puede contribuir grandemente a alcanzar un menor impacto del sector, muy sensible a ello por la alta visibilidad de su actividad.

Planes de eficiencia energética

El sector de los edificios está caracterizado por su elevado número y dispersión, lo que hace más difícil la implantación de medidas de eficiencia y económicamente poco atractiva. Contribuye a la lentitud de obtención de resultados la larga vida de los edificios y de sus instalaciones fijas. El estudio [IDAE, 2004] cifra el crecimiento del sector en un 63% entre 2000 y 2012, cifra muy importante. Esto, junto con unos ahorros previstos por medidas de eficiencia energética muy modestos, del 6,8%, hace pensar que es necesario un impulso de I+D que permita no solo cumplir este objetivo, sino mejorarlo. A ello contribuirá de forma decisiva la materialización de las ayudas a la superación de barreras (de tipo normativo, económico y de información) previstos en el documento E4 antes citado, 577 M• a lo largo del período de aplicación. En Europa, los estudios previos a la aprobación de la Directiva 2002/91/EC indicaron ahorros potenciales del consumo en torno al 22%.

Si bien la intervención en edificios de viviendas ya construidos resultará, en todo caso, lenta, por la modestia de la potencia unitaria y por dificultades económicas y técnicas, la intervención en grandes edificios de servicio público y empresariales ofrece atractivos especiales, al notarse las mejoras de forma inmediata, estar más centralizadas las instalaciones y permitir el tamaño de la instalación la aplicación de técnicas más sofisticadas que en el caso de

viviendas. En estos grandes edificios el consumo es múltiple, por lo que la curva de demanda es más uniforme que en una vivienda o incluso que en una comunidad de propietarios. Se demandan energías más variadas (vapor, agua caliente, frío, electricidad, fuego para cocción, etc.) y con una mayor simultaneidad, lo cual permite la aplicación de técnicas de cogeneración e incluso poligeneración¹³. La disponibilidad de profesionales encargados del control, seguridad y mantenimiento permite la aplicación de técnicas que actualmente no son concebibles técnica y operativamente en una vivienda unifamiliar.

Incluso es posible el «outsourcing» en este aspecto, contratándose a una empresa de servicios energéticos que, a cambio del diferencial del coste energético logrado obtiene beneficios, encargándose del suministro energético global al edificio, con garantías de mantenimiento del coste. Este tipo de esquemas no ha sido explorado aún con la suficiente intensidad.

Técnicas de eficiencia energética

Es de destacar que en la estrategia E4, la mayor inversión asociada a medidas de ahorro y eficiencia energética corresponde a la edificación, sector que recibiría más de la mitad del total de la inversión prevista. El mayor coste de superación de barreras también corresponde a este sector, seguido de la industria y del transporte.

Cogeneración

La eficiencia de conversión de energía en los combustibles a electricidad no supera el 60% actualmente, en el mejor de los casos, siendo más habitual cifras del orden de la mitad. El resto de energía ha de verse al ambiente. Esta energía residual es valorizable en forma de calor en un esquema energético denominado cogeneración. Las eficiencias alcanzables se acercan al 100%. Esta gran oportunidad de ahorro energético es conceptualmente extendible a sustituir un generador de calor (para agua caliente sanitaria, para calefacción u otros usos) por un motor que produzca electricidad y el subproducto de esta actividad, el calor, constituir la demanda principal. La electricidad se usa en consumos propios o se vende a la red eléctrica.

El motor no producirá cantidades de electricidad y de calor coincidentes con la demanda, por lo que es necesario almacenar el excedente y/o usar la red eléctrica como depósito infinito del que se puede tomar o devolver electricidad a conveniencia.

La aplicación de la cogeneración a los edificios en nuestro país es una asignatura aún pendiente. En Europa y, en mayor medida, en nuestro país, la mayoría de las aplicaciones de esta tecnología son en la industria. Tan sólo en

torno a un 5% se instala anualmente en el sector terciario. Además, su aplicación en España supone un 12% de la potencia instalada en el sistema eléctrico nacional (aunque sólo la mitad de la energía producida se vierte a la red, la cual supone un 9% de la energía eléctrica producida), notablemente inferior a Europa, en torno al 18%.

Desde el punto de vista tecnológico, existe una barrera inicial para la difusión de la cogeneración en los sectores que requieren una potencia unitaria reducida. Los motores térmicos y sus equipos asociados ofrecen rendimientos menguantes al descender su tamaño, mientras que el coste por unidad de potencia aumenta. A ello hay que añadir el problema de la contaminación de la atmósfera, actualmente concentrada en las grandes centrales eléctricas, alejadas de las aglomeraciones humanas. Caso de difusión masiva de la cogeneración distribuida significaría acercar fuentes contaminantes a la población, con los lógicos aumentos de la inmisión. Aun así, hay hueco para esta tecnología, especialmente en establecimientos hoteleros, de restauración y de servicios. En estas instalaciones la mayor profesionalización, continuidad del consumo y el mayor tamaño permiten unas emisiones menores.

Otra barrera tecnológica que frena la producción de electricidad doméstica es la carencia de estándares uniformes acerca de la conexión a red, protecciones, seguridad y responsabilidades del micro-generador. El congreso COGEN Europe ha formado un grupo de trabajo al respecto <http://cogenspain.org>.

La pila de combustible

Muchos de los inconvenientes de los motores térmicos, antes citados, se ven solventados con la conversión directa de la energía química contenida en los combustibles en trabajo eléctrico, por intermediación de pilas de combustibles. Esta tecnología es objeto actualmente de intensa investigación e inversiones muy cuantiosas. Ofrece un funcionamiento silencioso y tamaños unitarios tan pequeños como se desee sin pérdida de rendimiento de conversión. Los gases emitidos son inocuos y su eficiencia actualmente alcanza los máximos conseguidos con los motores térmicos.

Algunas cuestiones quedan aún por resolver. La que quizás hoy en día menos preocupe es la del coste, muy elevado actualmente, pues se actúa en la confianza de que la investigación básica y aplicada en unos años consiga un milagro similar al de los ordenadores, esto es, un abaratamiento espectacular con la producción en masa automatizada.

Las pilas de combustible requieren combustibles gaseosos primordialmente y generalmente bastante puros. Esto discrimina a los yacimientos más abundantes, los de car-

bón¹⁴. Sin embargo, su combustible de preferencia es el hidrógeno, carente de emisiones de CO₂ y por ello muy atractivo frente al problema del cambio climático. Hoy en día el origen del hidrógeno es a partir del reformado de gas natural¹⁵, por lo que no puede significársele ni como limpio ni como «verde». Su obtención de fuentes de energía renovables o incluso de la energía nuclear ofrece la posibilidad de una limpieza medioambiental casi absoluta. Desgraciadamente el rendimiento global esperable con la tecnología actual no supera el 25%, perdiéndose el 75% restante de energía eléctrica en el camino.

A pesar de estos inconvenientes, posiblemente salvables en un futuro no muy lejano, la pila de combustible se configura como una candidata a cogenerar en las viviendas. El calor residual obtenido durante su operación puede almacenarse para su uso sanitario posterior e incluso sería posible la calefacción si se dispone de sistemas de difusión del calor en los recintos de gran superficie, tipo suelo radiante¹⁶. El suministro de hidrógeno acarrea inmensos problemas tecnológicos, pues fragiliza los aceros, detona con gran facilidad y se difunde y fuga por los más pequeños intersticios, al ser el átomo de menor tamaño en la naturaleza. Sin embargo, es limpio y de cómodo uso. Su obtención termo-electrolítica en el lugar de expedición, en botellas, podría ser una solución próxima. Esto salvaría el gran obstáculo que supone la inexistencia de redes de distribución de hidrógeno.

Este simple ejemplo valga para introducir lo que se ha dado en denominar la «sociedad del hidrógeno». Su desarrollo plantea actualmente numerosas incógnitas e ineficiencias. En el ejemplo anterior baste suponer que la electricidad empleada en producir hidrógeno se usara para mover una bomba de calor que climatizara el edificio. Su coeficiente de eficiencia energética es actualmente del orden de 3 en media anual, lo cual significa que multiplicaría por 3 los kWh de electricidad consumida, mientras que el empleo de la pila de combustible reduciría la energía final al 25% de la invertida.

Una aplicación masiva resulta especialmente atractiva para la pila de combustible y es el transporte automóvil en un vehículo híbrido. La futura escasez del petróleo, único combustible válido, podría ser mitigada con el empleo del hidrógeno, cuyo origen podría no ser fósil.

La aplicación de la pila de combustible para alimentar pequeños electrodomésticos ofrece una larga autonomía y compacidad, pero sin la posibilidad de recarga eléctrica, teniéndose que recurrir a repostaje. El futuro inmediato nos dirá si se trata de una opción realista.

4. ENERGÍAS RENOVABLES

La Unión Europea tiene señalado como objetivo para 2012 conseguir un aporte del 12% de energías renovables al con-

sumo primario. Además, de ello ha de desprenderse que un 20% de la electricidad ha de ser, asimismo, de origen renovable.

Estos mismos objetivos son asumidos por las planificaciones nacionales de los países miembros.

En lo tocante a los edificios, su aportación a estos planes puede basarse en las siguientes líneas:

- Empleo de la energía fotovoltaica.
- Empleo de la biomasa como combustible, sea directamente o bien en forma de biogás o biocombustible.
- Empleo de la energía solar térmica de baja temperatura.

La energía eólica solamente puede ser significativa en los edificios a nivel de pequeños aerogeneradores de apoyo y solamente en áreas con recurso eólico suficiente. Las ciudades suponen una rugosidad de la superficie terrestre muy elevada, lo que hace que el viento resulte racheado y, por ello, no adecuado al aprovechamiento energético.

El empleo de la poligeneración se ha discutido anteriormente.

Solar fotovoltaica

Su tecnología comercial se encuentra actualmente en una fase de maduración, orientada a demostrar las largas duraciones necesarias para su amortización a base del ingreso que su producción eléctrica rinde y en fase de abaratamiento de su coste por economías de escala. De lograrse abaratamientos importantes, esta tecnología, por su sencillez y facilidad de uso resulta muy atractiva. Junto con la solar térmica goza de la ventaja de producir más durante las horas centrales del día, cuando la demanda eléctrica es mayor, especialmente con el aire acondicionado en marcha.

Su significación actual y prevista está caracterizada por una presencia indudable en la cesta de la energía, si bien en proporción minoritaria (30,8 GWh en 2002).

Actualmente se investiga en lograr una integración mayor de los paneles fotovoltaicos con la epidermis del edificio, adaptarse al cromatismo de la fachada y actuar incluso como componente estructural o de cubierta. Incluso se trabaja en combinarla con la solar térmica.

Biomasa

De acuerdo con los datos de numerosos estudios, es la energía renovable más importante en nuestro país, con un 57% de participación, incluyendo toda la hidroeléctrica. Significa un 80% de las renovables si no consideramos la hidroeléctrica. La obtención de electricidad con biomasa es muy minoritaria, usándose principalmente para producir calor.

El empleo de residuos de la madera en forma de chips o de pellets está muy difundido en el norte de Europa, donde radican los principales productores y fabricantes de calderas para su uso en edificios y pequeñas industrias.

En nuestro país el empleo del potencial de la biomasa no se encuentra al nivel de aprovechamiento que cabría esperar, especialmente en los edificios (5,54% de los objetivos marcados por el PFER entre 1990 y 2002). Un pequeño consumo en calefacción y calentamiento de agua sanitaria existe, así como fabricantes de pellets que incluso exportan, pero con un mercado nacional débil y poco experimentado.

Aparte de las barreras informativas y económicas que puedan existir, las barreras técnicas para el uso de biomasa pretratada y homogeneizada son reducidas. Acaso la disposición de un lugar para su almacenamiento puede ser el principal problema. El almacenamiento no resulta peligroso ni dañino si se realiza en depósitos independizados de la obra y estancos y si se logra que la alimentación de la caldera, así como la retirada de cenizas, se realice por medio de sistemas automatizados y autolimpiantes. Las emisiones de CO, NO_x y HCs con los humos de chimenea resultan actualmente reducidas¹⁷ y la limpieza del hogar una operación poco frecuente, una vez por temporada en algunos casos. Una investigación tecnológica en este sector podría permitir en un futuro un uso de la biomasa similar al de los combustibles habituales, como el gasóleo. La producción de electricidad con biomasa actualmente queda restringida a centrales, por emplear el ciclo Rankine de vapor, lo cual exige tamaños importantes (20 a 50 MW) para resultar económicamente viable. La cogeneración en configuración de central de distrito podría desempeñar algún papel en el futuro si resultara posible aunar necesidades del vecindario y si existe una política de incentivos atractiva. No obstante, el empleo de biomasa comporta problemas importantes para la generación eléctrica. Uno de ellos es el transporte hasta la central y su almacenamiento a lo largo del año, tras la cosecha. Otro, de mayor calado, es la producción de cenizas fusibles a menor temperatura, lo que hace que se produzcan problemas en la gestión de las mismas. Actualmente se trabaja en la adición de pequeñas cantidades de biomasa al carbón, para que así, su efecto sea inapreciable.

La gasificación¹⁸ de la biomasa de forma integrada con ciclo Brayton podría permitir el empleo de la biomasa para la producción de electricidad y calor en microturbinas de gas desde 30 kW eléctricos, nivel de potencia adecuada para edificios de servicios o comunidades de propietarios. Actualmente se realizan estudios y primeras demostraciones de la tecnología [Roa et al. 2005].

El empleo de la variedad de biomasa necesaria para poder alcanzar un volumen de producción importante, lo cual incluye residuos agrícolas, industriales y cultivos energé-

ticos, tropieza con el problema de la variedad de propiedades de la biomasa, forma, composición, tipo y composición de cenizas, etc. Es necesario recurrir a tecnologías especializadas en un tipo determinado de biomasa, lo cual hace complejo del desarrollo del mercado.

Energía geotérmica superficial

Esta tecnología se basa en el empleo de la energía gratuita del suelo y/o del agua freática. Aprovecha la temperatura del suelo, menor en verano que la del aire, para hacer de sumidero térmico de una máquina frigorífica de compresión mecánica que use agua en el condensador. Al reducirse la diferencia de temperatura la eficiencia de la máquina resulta mayor, con lo que el consumo de electricidad disminuye. En invierno esta misma máquina actúa de bomba de calor, aprovechando la temperatura del suelo, mayor que la atmosférica, para extraer calor para aumentar su eficiencia. Algunos grupos en nuestro país investigan en esta área, con resultados prometedores, a la vez que las primeras empresas empiezan a ofrecer sus productos comerciales.

Solar térmica

La producción de ACS con colectores solares planos es quizás la aplicación moderna de energía renovable más inmediata y conocida. Sin embargo, su desarrollo en nuestro país, si bien prometedor, va muy por detrás de las cifras previstas por el PFER (4.500.000 m² en 2010) con 520.000 m² acumulados en 2002 y 5.000 nuevas instalaciones sumando 60.000 m² en ese año. Comparativamente con otros países de nuestro entorno (Grecia, Portugal) y con países de una menor insolación, como Alemania, la posición de nuestro país se encuentra retrasada. La superficie instalada por habitante es de 12 m²/habitante, cuando Austria y Grecia se sitúan en más de 250 m²/habitante y la media Europea alcanza los 37,3 m²/habitante [IDAE 2004b].

Las ayudas económicas en nuestro país proceden del gobierno central como subvenciones en una cuantía del orden de hasta 500 a 600 €/m² y créditos blandos (línea ICO-IDAE), gobiernos autonómicos, gobiernos locales (IAE, Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras e IBI) y beneficios fiscales a empresas a través del Impuesto de Sociedades. Puede decirse que en este capítulo nuestro país se encuentra en una posición media favorable.

Al margen de los consabidas barreras administrativas, de información y quizás económicas, comunes a otras energías renovables, es necesario admitir que existen barreras de formación técnica y capacitación en la praxis que dificultan un mayor desarrollo de esta tecnología. La durabilidad de los colectores solares y sus instalaciones auxiliares no sólo dependen de la calidad de los componentes, sino de la calidad de la ejecución por parte de los

instaladores y del mantenimiento. Nuestro país posee una climatología extrema, de tipo continental, en la mayor parte del territorio interior. Las diferencias de temperatura entre día y noche son bruscas y los fenómenos meteorológicos extremos, causando una fatiga importante a los materiales. Por otro lado:

- Las altas intensidades solares hacen que en verano el riesgo de daño por sobrepresión del agua y tensiones térmicas de las instalaciones solares sea considerable, especialmente si la instalación tiene pérdidas térmicas reducidas y si está dimensionada para cubrir un porcentaje elevado de la demanda. Al reducirse la demanda de agua caliente en verano, el sobrante ha de ser gestionado.
- El daño por congelación del agua en invierno es asimismo elevado en buena parte de la geografía nacional, requiriendo, en muchos casos, el uso de un circuito cerrado de captación con agua glicolada.

Actualmente se ofrecen instalaciones con la posibilidad de vaciar la instalación en ambos casos, contribuyendo con este intento a una evolución que permita tratar la instalación solar térmica en un «electrodoméstico» más. Esto es, sin necesidad de una formación específica y sin una vigilancia frecuente.

En este sentido, en [IDAE 2004b] ASIT propone «Fomentar la calidad y fiabilidad de las instalaciones, para garantizar al usuario el cumplimiento de la amortización de su inversión» Asimismo propone como mecanismo de fomento a esta tecnología «Primando la calidad, seguridad y mantenimiento de las instalaciones».

En los aspectos de ejecución esta misma ponencia declara «Sin un sector industrial capacitado y estructurado a las necesidades del mercado tampoco sería posible el cumplimiento del PFER, ...» y en los aspectos relativos al compromiso de la industria solar térmica «La capacitación permanente de técnicos cualificados».

De la ponencia presentada por la agencia de la energía de Barcelona cabe citar entre los trabajos futuros «Desarrollar un modelo sencillo y barato de certificación de garantía de estas instalaciones que sea reconocido por todos los agentes involucrados»

Parece que puede deducir de ello una opinión bastante generalizada de necesitarse una base sólida sobre la que basar el aseguramiento de la calidad de las instalaciones.

Solar térmica para climatización

El empleo de la energía solar térmica para calefacción supone superficies de captación entre 50 m² y 100 m² por vivienda unifamiliar aislada. La inversión requerida difícilmente puede amortizarse en un tiempo razonable,

especialmente si se considera el sobrecoste de la difusión de calor a los recintos por suelo radiante o equivalente. A reducir esta superficie y a aumentar las horas de calefacción puede contribuir el empleo de bombas de calor de compresión mecánica apoyadas por energía solar, técnica actualmente poco desarrollada.

A la amortización de la gran superficie de colectores necesaria para la climatización puede contribuir el empleo de máquinas de absorción para la producción de frío y así obtener aire acondicionado en verano con energía solar. Se rentabiliza así la instalación durante todo el año y se evitan riesgos de sobrecalentamiento en verano.

ASIT e IDAE en [IDAE 2004b] recomiendan esta opción para evitar sobrecalentamiento de la instalación solar en verano, o alternativamente la disipación del exceso de calor captado.

Dos son las principales barreras que se oponen a esta tecnología:

1. Inexistencia de máquinas en el mercado con potencias en el entorno de 10 kW_f.
2. Dificultad en emplear condensación por aire.

El calor absorbido por la máquina del interior de la vivienda se suma al calor recibido de la instalación solar en la máquina de absorción y ambos han de ser evacuados al ambiente como desecho. Generalmente se hace uso de torres de refrigeración como el medio más económico y compacto de evacuar calor¹⁹. Cuentan con la ventaja adicional de producir temperaturas notablemente inferiores a las ambiente (bulbo seco) gracias a una baja humedad relativa, como la de las regiones interiores de nuestra península en verano.

Sin embargo, la posibilidad de aparición de legionella, así como las dificultades de empleo del agua, bien cada vez más escaso, suponen un problema. Estas máquinas encaran dificultades operativas en los días más cálidos del año, con temperaturas ambientales de 35° a 40°, e incluso mayores en la mitad Sur de nuestra geografía. Disminuirían su capacidad frigorífica cuando más se las necesita.

Al paso de estas dificultades sale la tecnología de máquinas que directamente evacúan el calor al aire ambiente, haciendo uso exclusivo de su entalpía sensible. Son, pues, máquinas condensadas por aire. La aplicación de nuevas tecnologías a las máquinas de absorción de simple efecto puede permitir su empleo en todo el rango de parámetros ambientales de nuestro país.

En el seno de investigación la Unidad Asociada de Ingeniería Térmica y de Fluidos se llevan a cabo estudios teóricos y de demostración práctica sobre racionalización

energética en los edificios y, en particular, sobre el empleo de máquinas de absorción como refrigeradoras o bombas de calor.

5. CONCLUSIONES

El patrón de desarrollo de nuestra sociedad no es sostenible, tanto por el agotamiento de las fuentes naturales, como por el impacto ambiental. Es necesario hacer frente a este problema usando el ahorro energético²⁰ como una de las armas más eficaces. El modelo económico debe reconocer que existen unos límites al crecimiento desaforado del consumo energético y asumir esos límites por responsabilidad intergeneracional. La ONU y el Consejo Mundial de la Energía en su *Informe Mundial de la Energía* reconocen que en los países desarrollados queda aún un amplio margen para lograr una reducción de la energía consumida por unidad de PIB (intensidad energética). Por ejemplo, un 30% de la energía se malgasta por el uso ineficiente en casas, edificios, empresas y vehículos. Ello es aplicable a nuestro país, por lo que el ahorro energético tiene potencial para contribuir al desarrollo sostenible.

La actividad que se realiza en los edificios constituye el consumidor más importante en nuestra sociedad. Contribuir a mejorar la eficiencia energética y ambiental de estas actividades es una necesidad relevante.

La constitución del propio edificio y de las instalaciones que lo complementan son agentes activos en el consumo energético. La mejora de sus prestaciones energéticas ha de guiar el proceso de diseño.

Existe un conjunto amplio de tecnologías disponibles para reducir el carácter energívoro de los edificios. Su adaptación a ellos es una labor de investigación y desarrollo que debe ser priorizada y constituye un campo fértil para las innovaciones.

Las energías renovables están destinadas a desempeñar un papel importante en los edificios, si bien la amplitud de su uso depende de tecnologías muy diversas, las cuales han de garantizar prestaciones estables durante un largo número de años.

Notas

¹ El carbón, por ser un combustible sólido, dificulta la realización de una combustión completa. Ésta sólo es posible en grandes instalaciones, como las centrales eléctricas de carbón, en las que se realiza una cuidadosa preparación del combustible, pulverizándolo o gasificándolo. Además, por imperativo legal, estas instalaciones suelen tener que incorporar sistemas de limpieza de gases de chimenea, como separadores de partículas volantes, absorbedores de dióxido de azufre (desulfuradores) y neutralizadores de óxidos de nitrógeno, todos ellos contaminantes reconocidos. Sin embargo, una combustión perfecta no elude el que el carbón sea el combustible que más CO produce de todos los fósiles.

² Los productos petrolíferos son, además, materia prima de la industria química. Si bien no son imprescindibles su ausencia haría que los productos se encarecieran notablemente.

³ La capa de ozono estratosférico, que nos protege de la parte dañina de los rayos solares, está amenazada por la emisión a la atmósfera de sustancias que contienen cloro, bromo o yodo. El agotamiento de la capa de ozono está siendo evitado por el Protocolo de Montreal. El mayor efecto destructor proviene de gases usados en la industria del frío.

⁴ Se entiende por intensidad energética a la energía consumida para producir la unidad de riqueza, generalmente expresada en toneladas equivalente de petróleo por unidad de producto interior bruto a precios constantes. La tonelada equivalente de petróleo es una unidad de energía primaria que expresa el calor liberado en la combustión completa de este combustible. Como se consumen combustibles diversos e incluso se produce energía sin consumir combustibles (p. e. energía hidráulica o eólica) se contabilizan las toneladas de petróleo que hubieran sido necesarias para producir esa energía final, electricidad. p. e.

⁵ La intensidad energética es baja en los comienzos del desarrollo de un país, al carecer la población de capacidad de empleo de la energía. Durante el desarrollo crece por la necesaria construcción de las infraestructuras y la mayor actividad económica, en muchas ocasiones volcada en actividades muy consumidoras y usando tecnología simple e incluso obsoleta. Políticas desarrollistas favorecen esta subida de la intensidad energética. Una vez producido el desarrollo es esperable un descenso de la intensidad económica. El abandono de actividades industriales de los sectores primario y secundario en favor del terciario, junto con una mayor eficiencia favorecen esta inflexión.

⁶ Estos datos pueden ser complementados con otros ampliamente difundidos, p.e. el diario El País, de 5 de junio de 2005, p. 72.

⁷ En este documento tm significa tonelada métrica, esto es, 1.000 kg.

⁸ Agencia Internacional de la Energía.

⁹ La forestación y reforestación, junto con las tierras de cultivo se consideran capaces de fijar el carbono atmosférico. La cantidad fijada ha de demostrarse.

¹⁰ Un aparato de aire acondicionado reversible significa que en lugar de bombear calor del interior al exterior en verano, para mantener en el interior una temperatura menor que en el exterior, se invierte su funcionamiento en invierno. El resultado es que se produce calefacción en invierno al bombearse calor tomado del exterior, generalmente del aire, al interior. Se conoce como bomba de calor.

¹¹ El concepto de rendimiento o eficiencia termodinámico es general y variado. Generalmente es el cociente entre la energía deseada (producto) y la energía empleada (invertida). Así, el rendimiento de una central de producción de electricidad es el cociente entre la energía eléctrica producida y la energía consumida para ello. Las centrales termoeléctricas de vapor convencionales tienen un rendimiento que, como media, ronda el 33%, de ahí el factor 3.

¹² El potencial de efecto invernadero directo de un proceso o producto es el debido a la liberación de las sustancias con efecto invernadero directamente involucradas. En potencial indirecto se debe a las emisiones atribuibles al consumo energético.

¹³ Producción simultánea de electricidad, calor y frío por usar un motor térmico en el propio edificio. El calor procede de los gases de escape del motor y de su circuito de refrigeración. El frío puede provenir del uso directo de la electricidad producida o aprovechando el calor residual con una máquina de absorción. Generalmente se usa una simultánea conexión a la red eléctrica para inyectar la electricidad producida sobrante y para consumir de ella cuando la producción local es insuficiente.

¹⁴ Actualmente se trabaja en la gasificación del carbón, capaz de producir hidrógeno tras un reformado. Actualmente, el coste, le impiden que se desarrolle como una fuente de este gas.

¹⁵ El reformado consiste en una primera etapa de combustión parcial con carencia de oxígeno. La liberación de energía produce la temperatura adecuada y los productos son, primordialmente, CO, H₂, y en menor proporción H₂O y CO₂. La inyección de agua logra aportar moléculas de hidrógeno y el oxígeno necesario para oxidar el CO a CO₂. El resultado es moléculas triatómicas, H₂O y CO₂ mezcladas con hidrógeno, fácilmente separable. Quedan residuos de CO que suele ser nefasto para la vida de los catalizadores de las células de combustible.

¹⁶ La tecnología candidata a ser aplicable a hogares es actualmente la de membranas poliméricas, conocida como PEM. Produce un calor residual como agua caliente a unos 50 a 60 °C.

¹⁷ La combustión de biomasa sólida comparte con el carbón su dificultad de combustión. Por ello, la concentración de partículas y de gases contaminantes en calderas no puede ser tan reducida como con combustibles líquidos y no digamos los gaseosos, como el gas natural o los GPL.

¹⁸ Por gasificación se entiende un proceso que logra producir gas combustible a partir de un combustible sólido, generalmente. Se puede producir por un simple calentamiento, con lo que se conoce como pirólisis, o bien a través de una combustión parcial con gran déficit de oxígeno. El gas combustible es más apreciado que el combustible sólido, por la mayor facilidad con que se puede quemar.

¹⁹ Cuando el calor residual se evacúa de la máquina con un circuito se agua, se las denomina condensadas por agua. Esta agua generalmente se envía a un dispositivo que la dispersa en aire y con ello evapora parte de ella para conseguir un efecto refrigerante favorable. Tales dispositivos se conocen como torres de refrigeración.

²⁰ Es necesario asumir en este contexto, que ahorro energético significa, primariamente, un aumento de la eficiencia energética y, secundariamente, una disminución de actividad (gasto). Con la eficiencia energética se logra realizar lo mismo, pero con un consumo menor. Puede significar también un cambio de actividades a otras menos consumidoras.

BIBLIOGRAFÍA

- AEMA 2004. Medio Ambiente en Europa. Tercera Evaluación. ISBN 8483202913.
- ASHOTEL, fecha desconocida, Guía práctica para mejorar la gestión medioambiental hotelera. www.ashotel.es

- Bowie, R. Jahn, A. 2003. European Union-the New Directive on the Energy Performance of Buildings-Moving Closer to Kyoto European Commission Directorate General for Energy & Transport Unit D1 Contribution to «Revuee TUD Schrifft» Société Royale Belge des Electriciens, April 2003.

- CJN Consultores, 2002. Consumo energético y crecimiento económico. Comisión Nacional de la Energía y Club Español de la Energía.

- Comisión Europea 2001. Libro Verde Hacia una Estrategia Europea de Seguridad del Abastecimiento Energético, Luxemburgo, ISBN 9289403160.

- Delft Outlook, 2005.2. Heat Pump for Comfort, with Added Energy Savings vol. 22 nº 2, ISSN 0926-7212, p.12, Delft, Holanda.

- DOE (2003). Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2003. DOE/EIA-0573(2003). Energy Information Administration. Office of Integrated Analysis and Forecasting.

- U. S. Department of Energy. Washington, DC 20585

- EEA 2005 http://themes.eea.eu.int/Sectors_and_activities/households/indicators/energy.

- EIA 2004. Energy Information Administration. <http://www.eia.doe.gov/emeu/recs/recs2001/enduse2001/enduse2001.html>. tambien 2001 Residential Energy Consumption Survey: Household Energy Consumption and Expenditures Tables <http://www.eia.doe.gov/emeu/recs/recs2001/detailcetsbls.html#total>.

- EL PAÍS, diario nacional, 8 de agosto de 2004.

- IDAE 2004. Eficiencia Energética y Energías Renovables nº 6 de «Informes IDAE».

- IDAE 2004b. Eficiencia Energética y Energías Renovables en Edificios Ponencias de las Jornadas Informativas, Madrid, 1 y 2 de diciembre 2004.

- Iglesias Martín, Luis 2004. Política y Planificación Energética en España, Subdirector General de Planificación Energética, Jornadas de «Industria siderúrgica y energética, materias primas y su transporte», Gijón, 23 de septiembre de 2004.

- Izquierdo, M., Lecuona, A. y Rodríguez, P. A. «Bomba de calor agua-aire de alta eficiencia». II edición del Workshop Internacional de la bomba de calor: presente y futuro.

- Marcos, J. D.; Izquierdo, M. 2004. Futuro de la Demanda Energética en el Sector de la Edificación en España, trabajo de investigación para la obtención del DEA, Programa de Doctorado en Ingeniería Mecánica y de Organización de la Universidad Carlos III de Madrid.

- Michaelis, L. 2004. Consumption and the Environment in Europe. Trends and Futures University of Oxford. Lorek S. Sustainable Europe Research Institute. Danish Environmental Protection Agency. <http://www.seri.at/Data/personendaten/sl/2004%20DEPA%20Michaelis%20Lorek.pdf>.

- OPTI, LABEIN 2003. Obra Civil. Estudio de Prospectiva del Sector Obra Civil en Construcción, ISBN 93249955.

- Roa, J. Lecuona, A. 2005. Gasificación de Biomasa y Combustión de Gas Pobre».

- CONEER'05. (Congreso Nacional sobre las Energías Renovables) CEMACAM-Torreguil, Murcia, Noviembre.

World Energy Council (WEC) 1998 «World Energy Outlook», disponible en la AIE (International Energy Agency o IEA).

- XENIOS, Comisión Europea, programa ALTENR, <http://env.meteo.noa.gr/xenios>. Punto de contacto en España: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Bon Pastor, 5. 08021-Barcelona. Tel: 93 240 20 60. <http://www.csostenible.net> o sostenible@apabcn.es.

- Guía y el Código d Valoración de Edificación Sostenible para la Vivienda, 2005, Gobierno del País Vasco, España.